

# 中国降水极值变化趋势检测\*

翟盘茂 任福民 张 强

(中国气象局国家气候中心, 北京, 100081)

## 摘 要

利用中国 296 个分布均匀的测站的逐日降水资料, 研究了我国过去 45 a 中降水量、降水频率、降水强度等方面的极值变化趋势。

结果表明, 总体上讲, 我国年降水量、1 日和 3 日最大降水量以及不同级别的强降水总量没有发现明显的极端化倾向, 但伴随着降水日数极端偏多的区域范围越来越小的变化趋势, 平均降水强度极端偏高的区域范围表现为扩大的趋势。

我国降水极值变化还反映出明显的区域性特点。在我国东部, 平均降水强度极值出现的范围趋于扩大。如华北地区在年降水量明显趋于减少的同时, 年降水量极端偏多的范围减少, 1 日和 3 日最大降水量、日降水  $\geq 50$  mm 和  $\geq 100$  mm 的暴雨日数极端偏多的情况也趋于减少, 而平均降水强度极值显著增加。

在年降水明显趋于增多的西北西部地区, 降水日数的极值变化趋势不明显, 但年降水量、1 日和 3 日最大降水量以及日降水  $\geq 10$  mm 的降水总量极端偏多的区域范围均反映出趋于增加的变化趋势。

**关键词:** 中国降水, 极值, 变化趋势。

## 1 引 言

关于气候变化的研究过去主要集中在平均温度和降水量的变化方面。众所周知, 极端气象事件的频率和强度的变化更可能对社会和环境产生严重影响, 但对其气候变化规律还认识不足。IPCC (1995) 第二次科学评估报告指出了极端气象事件变化研究的重要意义, 并力图回答“气候是否更加容易变化或更加极端化了?”这一难题<sup>[1]</sup>, 为此, 由 CL VAR (Climate Variability and Predictability), GCOS (Global Climate Observing System) 和 WMO 支持, 1997 年 6 月在美国召开了“气候极值变化指数和指标”研讨会<sup>[2]</sup>。

我国气候在 1951~1990 年期间变暖了  $0.3$  左右<sup>[3,4]</sup>。图 1 给出了我国 1951~1995 年期间不同测站降水年总量的线性变化趋势的空间分布。图中显示出, 我国降水呈增长趋势的测站与呈下降趋势的测站大致相当。大范围明显的降水增长趋势主要发生在中国西部地区, 其中以西北地区尤为明显。但是, 我国东部季风区降水变化趋势的区域性差异较大, 其中降水明显增多的地区为东北中部、长江中下游地区及东南沿海一带, 而明显的下降趋势主要发生在华北大部、华东北部、东北东部及西南东部等地。

\* 初稿时间: 1997 年 9 月 17 日; 修改稿时间: 1998 年 6 月 12 日。

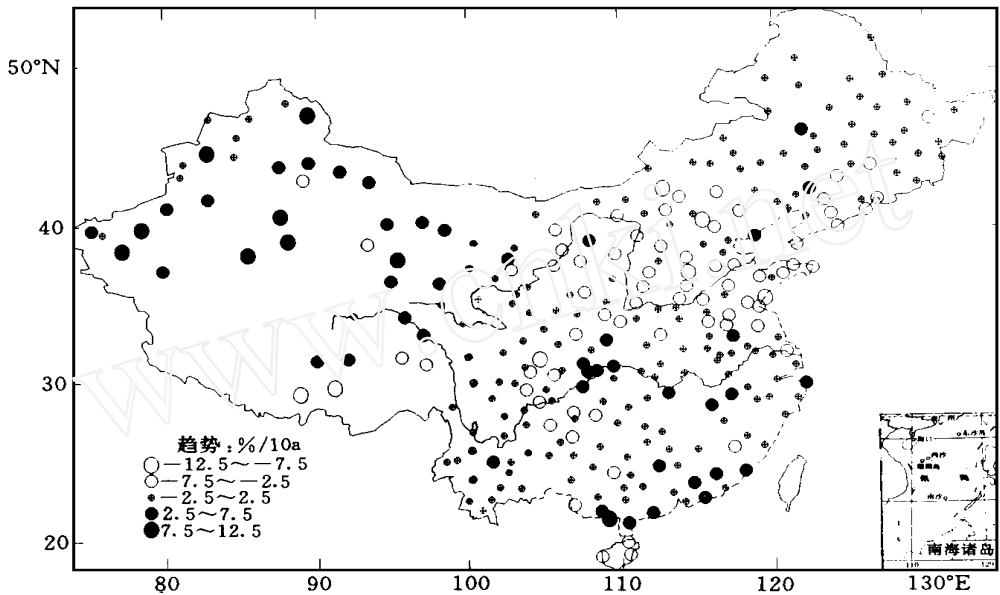


图1 中国 1951~ 1995 年期间不同测站年降水量变化趋势

在这种平均温度和年降水量的变化背景下,文中研究中国过去 45 a 中降水量、降水频率和降水强度 3 个方面的极值变化,重点包括年降水量、降水日数、1 日和 3 日最大降水量、日降水  $10\text{ mm}$  ( $50\text{ mm}$ ,  $100\text{ mm}$ ) 的降水总量及日数、平均降水强度、最长持续降水日数等极值变化趋势分析。

## 2 资料及方法

降水量、降水频率及降水强度的极值变化趋势研究需要完整的高分辨率资料。对中国逐日降水资料集的一些检查发现,许多测站资料序列不完整。Karl, et al 指出,把与时间有关的资料缺测假设为零时,会在降水变化趋势研究中引起误差<sup>[5]</sup>。为此,在本研究中,当一年内缺测超过 20 d (约大于一年内实际观测日数的 5%) 时,该年的统计量被设为缺测。当 45 a 序列中缺测总量超过 5 a 时,该测站被排除使用。因青藏高原测站稀少,而且降水缺测主要发生在冬季,恰逢少雨季节<sup>[6]</sup>,少量资料缺测问题对本研究影响不大,固未作删除处理。同时,在统计中还剔除了经历明显台站迁移的测站。为了进一步确认逐日降水资料的可靠性,文中还把逐日降水计算得到的年总量与台站上报的年降水总量进行了交叉检验,结果表明,文中选用的逐日降水资料的质量是可靠的。经过上述处理以后,选取了 296 站的逐日降水资料。

为了研究中国降水量、降水日数及降水强度等极值变化趋势,首先利用逐日降水量资料对每个测站从以下 5 个方面建立了 12 个降水统计量的时间序列:

- (1) 逐年降水量和降水日数(降水量  $0\text{--}1\text{ mm}$ ) 序列
- (2) 逐年 1 日和 3 日最大降水序列
- (3) 逐年中雨以上(日降水量  $10\text{ mm}$ )、暴雨以上(日降水量  $50\text{ mm}$ )、大暴雨以上

(日降水量  $\geq 100$  mm) 降水量及日数

(4) 逐年平均降水强度 (定义为年降水总量/年降水日数)

(5) 逐年最长持续降水日数序列

为了检测降水统计量的极值变化趋势, 对华南、华东、华北、华中、东北、西北东部、西北西部及青藏高原 8 个区域分别讨论。鉴于西藏地区资料较少, 文中对该地区的讨论也不多。对 8 个分区的序列按面积加权, 便可获得全国的序列。

具体计算中, 首先将上述时间序列的资料分别从小到大排序, 把其中最大 4 个和最小 4 个值作为极端偏多和极端偏少的值, 确定这些极值所在的年份; 把最大 (最小) 4 个值每年在研究区域中出现的面积与该区域的总面积的覆盖率建成新的序列, 并在区域序列的基础上面积加权生成全国序列。这种指标较好地提取了整个研究区域内多数测站同时反映的气候极值变化信息。该方法目前被国外许多学者用以极值变化研究<sup>[2, 5]</sup>。

为了反映年代际变化及线性变化趋势, 对序列还进行了 9 点二项式滤波及线性拟合, 并采用  $t$  检验对线性趋势的统计信度进行检验。

### 3 结果分析

#### 3.1 年降水量及降水日数

中国 1951~1995 年期间年降水量极端偏高和极端偏低的面积覆盖率的变化情况 (图略) 反映出过去 45 a 中, 中国的年降水量没有表现出显著的极端变化倾向。在 1964 年, 中国许多地区降水偏多, 夏季雨涝严重, 约有 22% 的地区出现年降水量极端偏多的情况, 只有 4% 的地区年降水量极端偏少。20 世纪 50 年代到 60 年代中期以及 90 年代以来, 年降水量出现极端偏多的区域较大, 20 世纪 70 年代、80 年代中国降水极端偏多的区域较少。

从表 1 中可见, 西北西部和西藏年降水量极端偏多的情况表现出显著的扩大趋势。其它地区, 如东北、西南和华北年降水量极端偏多的情况主要表现出减小的趋势, 但这种减小的趋势仅华北在统计上具有显著性 (95%) 意义。

表 1 中国 8 个区域和全国的降水 4 个最大值面积覆盖率的线性变化趋势 (单位:  $1\% / a$ )

降水统计量	东北	西北西部	西北东部	华北	华东	西南	华南	西藏	全国
年降水量	-0.16	0.23	-0.06	<u>-0.32</u>	0.00	-0.10	0.05	0.21	-0.09
年降水日数	<u>-0.58</u>	-0.04	-0.25	<u>-0.58</u>	<u>-0.47</u>	<u>-0.31</u>	<u>-0.37</u>	-0.20	<u>-0.39</u>
1 日最大降水量	-0.01	<u>0.19</u>	-0.06	<u>-0.15</u>	-0.09	0.05	0.01	-0.09	-0.03
3 日最大降水量	-0.06	<u>0.20</u>	-0.07	<u>-0.18</u>	-0.13	0.04	0.03	-0.15	-0.05
日降水 $\geq 10$ mm 的降水总量	-0.10	<u>0.29</u>	-0.03	-0.21	0.04	-0.07	0.09	-0.14	-0.04
日降水 $\geq 10$ mm 的降水日数	<u>-0.33</u>	0.06	-0.11	-0.18	-0.07	<u>-0.22</u>	-0.18	-0.39	<u>-0.17</u>
日降水 $\geq 50$ mm 的降水总量	-0.09	-	0.04	-0.09	-0.01	0.04	0.07	-	-0.02
日降水 $\geq 50$ mm 的降水日数	<u>-0.41</u>	-	<u>-0.39</u>	<u>-0.31</u>	-0.12	<u>-0.14</u>	0.01	-	<u>-0.23</u>
日降水 $\geq 100$ mm 的降水总量	-0.04	-	0.07	-0.14	-0.03	0.10	0.02	-	-0.01
日降水 $\geq 100$ mm 的降水日数	<u>-0.47</u>	-	-0.11	<u>-0.56</u>	<u>-0.34</u>	<u>-0.27</u>	<u>-0.25</u>	-	<u>-0.36</u>
最长连续降水日数	<u>-0.41</u>	<u>-0.34</u>	<u>-0.17</u>	<u>-0.33</u>	<u>-0.27</u>	<u>-0.28</u>	-0.18	<u>-0.36</u>	<u>-0.29</u>
平均降水强度	0.15	0.07	-0.03	<u>0.23</u>	<u>0.33</u>	0.10	<u>0.31</u>	-0.08	<u>0.15</u>

注: 下划线部分通过 95% 的信度检验

值得注意的是, 从年降水日数反映的降水频率来看, 年降水日数极端偏多的情况(图 2)在中国表现出显著的减小趋势, 从 8 个不同分区情况来看(表 1), 除西北西部以外, 其余地区降水日数极端偏多的情况都明显下降, 其中东北、华北、西南和华南等地反映出的下降趋势更为显著。

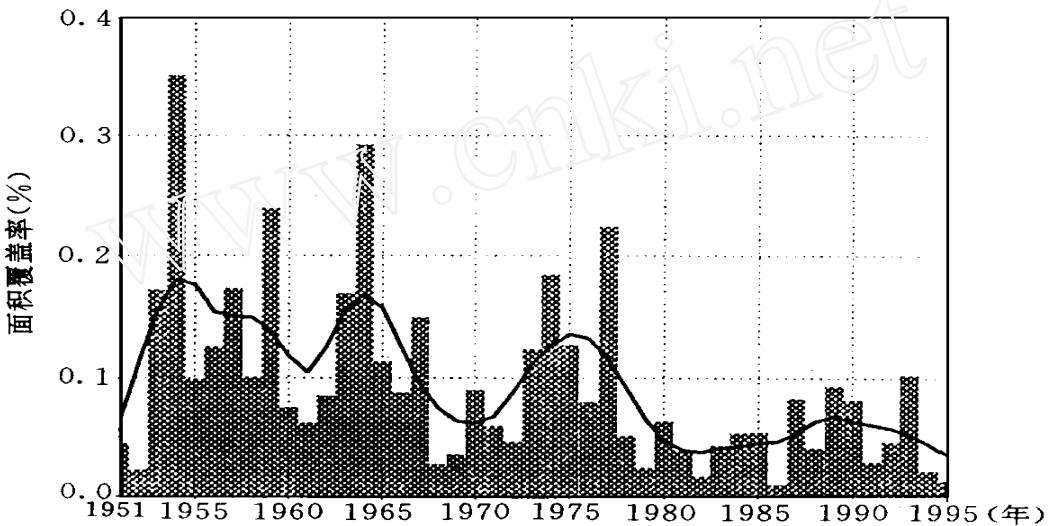


图 2 中国 1951~ 1995 年期间年降水日数极端偏多的面积覆盖率变化

年降水极值变化的差异表明, 有必要进一步研究不同强度降水日数、降水量以及降水强度等的变化情况。

### 3.2 1 日、3 日最大降水量

Rakhach 和 Som an 研究了印度 1~ 3 日最大降水的气候变化情况, 发现印度有些地方极端降水明显增长, 另一些地方都明显下降<sup>[7]</sup>。Iwashina 和 Yamamoto<sup>[8]</sup>研究了最大日降水量极值的 10 年际变化, 发现日本和美国的日最大降水呈增长趋势。

从中国过去 45 a 中 1 日和 3 日最大降水量极端偏高的面积覆盖率变化情况来看(表 1), 1 日和 3 日最大降水的变化也没有表现出明显的上升或下降趋势。但在一些地区, 如华北, 1 日和 3 日最大降水量极端偏高的区域表现出了明显的下降趋势; 而在西北西部地区, 1 日和 3 日最大降水量极端偏高的区域呈明显的扩展趋势。有意义的是, 华北和西北西部也正好是图 1b 中反映的过去 45 a 中中国降水明显减少和增长的地区。

### 3.3 强降水量和强降水日数

中国日降水量 10 mm, 50 mm, 100 mm 年降水总量在 45 a 中 4 个最大值面积覆盖率的变化情况反映出, 虽然它们在过去 45 a 中都表现出明显的年际与年代际变化, 但并没有明显的线性变化趋势(表 1)。

从年际变化来看(图 3), 在雨涝极端严重的 1954 年, 日降水量 10 mm, 50 mm, 100 mm 降水总量极端偏多的范围都达到峰值, 而在干旱严重的 1978 年, 不同强度的降水日数极端偏多的范围最小。20 世纪 50 年代后期到 60 年代初期, 中雨以上、暴雨、大暴

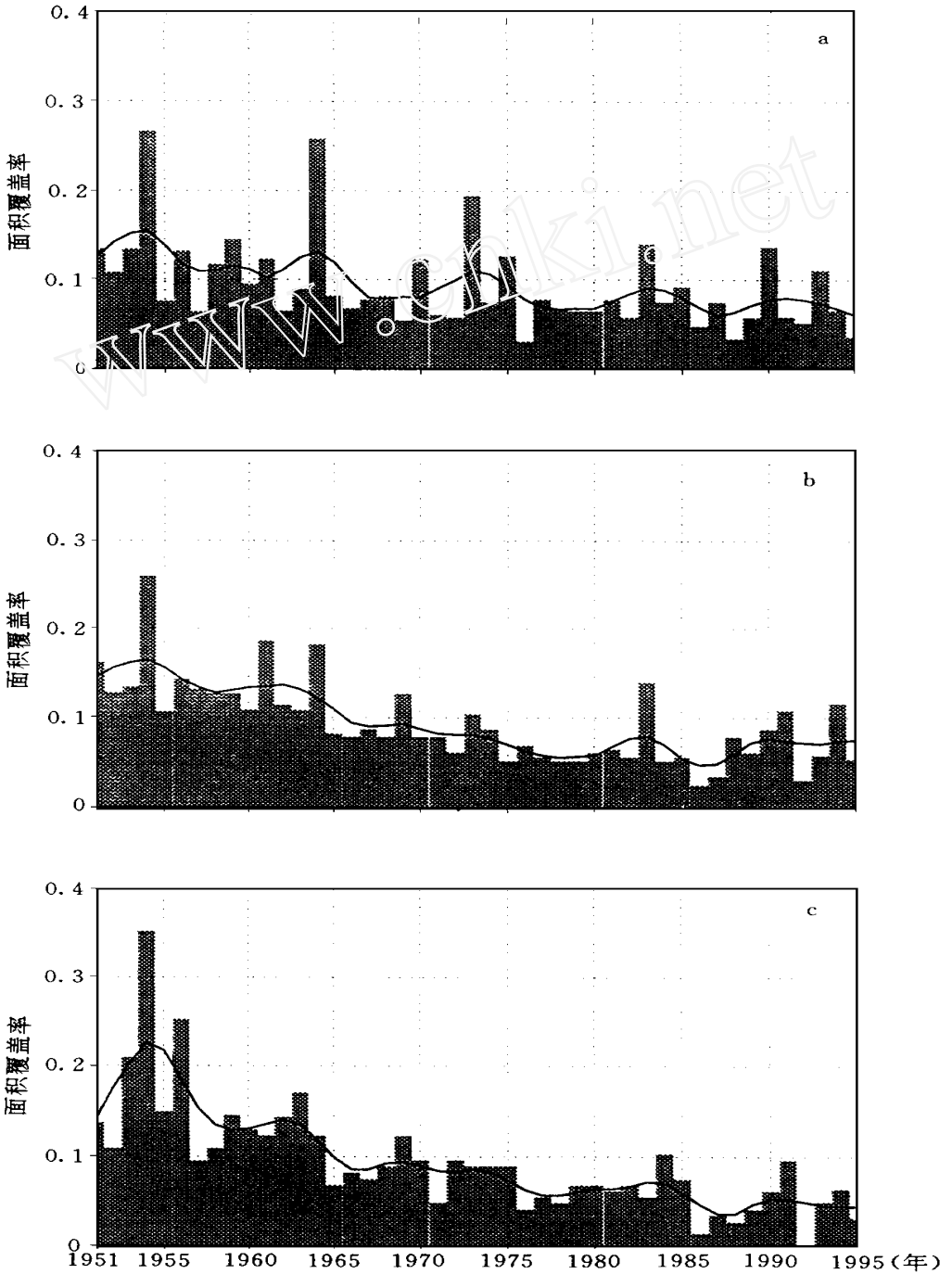


图3 1951~ 1995年中国最大4 a中雨以上、暴雨  
和大暴雨降水日数发生的面积覆盖率变化

(a 日降水量 10 mm; b. 日降水量 50 mm; c. 日降水量 100 mm)

雨总量极端偏高的范围比正常明显偏大, 70 年代暴雨和大暴雨年降水总量极端偏多的范围趋于扩大。

在西北西部地区, 日降水量  $\geq 10$  mm 的年降水总量极端偏高的区域呈显著的扩大趋势, 但在华北地区, 日降水量  $\geq 10$  mm 的年降水总量极端偏高的区域趋于减少 (表 1)。

从不同强度的降水频率上反映出, 在中国日降水量  $\geq 10$  mm (图 3a),  $\geq 50$  mm (图 3b),  $\geq 100$  mm (图 3c) 3 种不同级别的降水日数极端偏多的范围都表现出显著的缩小趋势。降水强度愈大, 这种缩小趋势愈明显。

从不同地区看, 日降水量  $\geq 100$  mm 的大暴雨日数极端偏多的范围在中国大部如华南、华北、西南、华东及东北等地都显著下降, 其中在华北下降趋势最为显著。对于日降水量  $\geq 50$  mm 的暴雨日数, 在东北、西南、西北东部及华北等地其极端偏多的范围呈显著的下陷趋势。而对日降水量  $\geq 10$  mm 的降水日数的极值变化, 只有在西南和东北具有比较明显的下降趋势。

### 3.4 降水强度

图 4 清楚地表明, 中国年平均降水强度极端偏强的范围虽然在 20 世纪 50 年代略偏大, 但从总体上讲, 中国降水强度极端偏高的范围仍然表现为扩大的趋势。中国东部如华南、华东和华北降水强度极端偏高的范围都呈显著上升趋势。

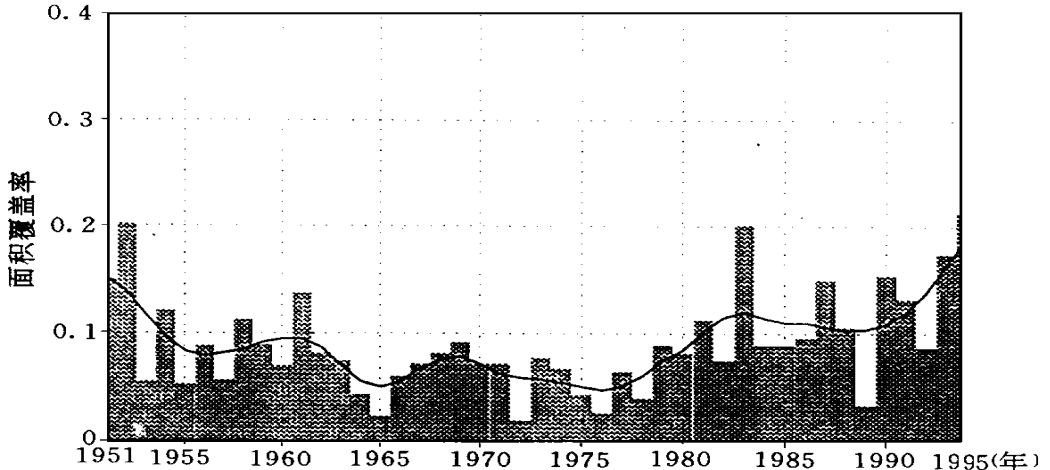


图 4 中国 1951~ 1995 年期间最大 4 a 平均降水强度发生的面积覆盖率变化

### 3.5 最长持续降水日数

图 5 给出了中国年最长持续降水日数极端偏多的面积覆盖率变化情况。显而易见, 在过去 45 a 中中国最长持续降水日数极端偏多的范围呈显著的下陷趋势。这种趋势在 20 世纪 60 年代中期以来更为明显。中国大部地区如西北西部、西北东部、东北、华北、华东、西南以及西藏也都表现出显著的下陷趋势。有意思的是, 在中国东部, 纬度越高, 下陷趋势越大。

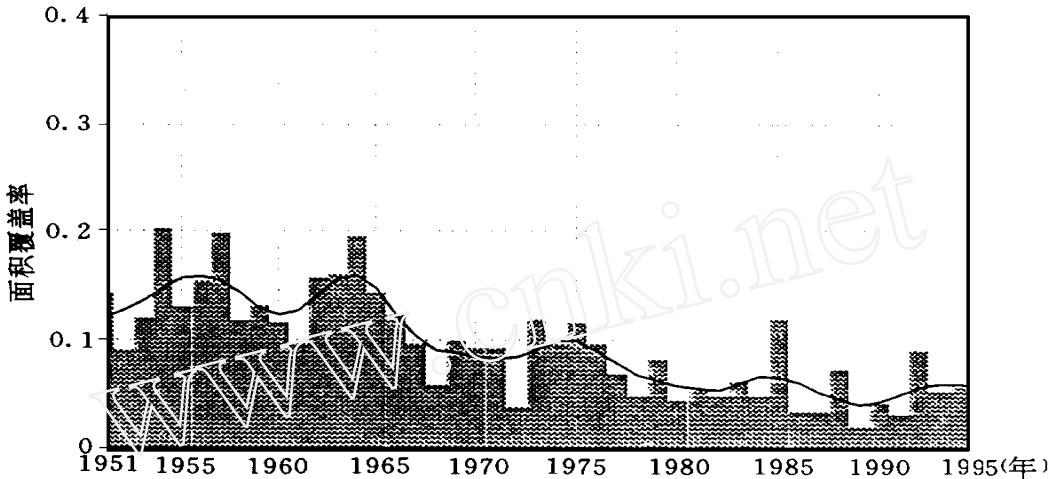


图5 中国1951~1995年期间最长的4个最长持续降水日数发生的面积覆盖率变化

#### 4 总结与讨论

文中从多方面探讨了中国降水极值变化规律。虽然全国的年降水量、1日和3日最大降水以及日降水量10mm、50mm、100mm的年降水总量极端偏多的区域范围都没有表现出明显的扩展或缩小的趋势,但是,年降水日数、日降水量10mm、日降水量50mm和日降水量100mm的年降水日数极端偏多的范围却反映出显著的下陷趋势,同时,中国的年平均降水强度极端偏强的覆盖区域呈现出显著的上升趋势。

中国东、西部降水的极值变化趋势是不一致的。西北西部是年降水量上升最显著的地区,而且年降水量趋于极端偏多的范围越来越大,这种变化可能与当地强降水量(日降水量10mm)的增加的有关。文献[9]最近指出,该地区夏季的降水量与东亚的春季雪盖呈明显的反相关关系。Groisman和Karl<sup>[10]</sup>等指出,北半球春季雪盖的减少趋势与大陆地区的气候变暖有关;因此,西北西部的降水增强很可能是对气候变暖的响应。但是,西北西部的年降水日数没有表现出明显的极端变化趋势。

从东部来看,平均降水强度极端偏强的趋势较为显著。如华北地区年降水量极值的面积覆盖率表现出显著的下陷趋势,与此同时,年降水日数极端偏多的范围表现出更为明显的下陷趋势,这就造成了平均降水强度极端偏强范围的明显增加。

中国最长持续降水日数极端偏多的范围显著缩小的趋势表明,出现持续降水极值可能性在趋于减少。年降水日数极端偏多的范围趋于变小、平均降水强度极端偏强的范围趋于增加,这可能会导致中国越来越多的地区降水趋于集中,引起干旱与洪涝事件趋于增多,这是值得进一步深入探讨的。

气候模式预测的未来降水极值变化充分表明,气候变暖将使水循环加强,进而引起更强的降水事件(IPCC, 1995)。许多研究指出,日降水量增大的变化可能伴随着干日的增多发生。在年降水量下降的地区,干日可能更为频繁地出现,这可能导致干期(dry spell)增长<sup>[11,12]</sup>。通过分析发现华北的降水日数和最长持续日数极端偏长事件均表现出显著下降

趋势。在华北, 虽然年降水量变化趋于减少, 但平均降水强度极端偏高的范围趋于增加。从中国降水极端变化趋势来看似与气候变暖引起的结果有相吻合之处。

## 参考文献

- 1 IPCC. Climate Change 1995, The Second IPCC Scientific Assessment. Intergovernmental Panel on Climate Change, WMO/UNEP, J. T. Houghton, et al, Cambridge University Press, 1995. 572 pp
- 2 GCOS/CLIVAR. Indices and indicators for changes in climate extremes. Asheville, NC, U.S.A., 1997, Jun. 3-6
- 3 陈隆勋, 邵永宁等. 近 40 年中国气候变化的初步分析. 应用气象学报, 1991, 2: 164~173
- 4 丁一汇, 戴晓苏. 中国近百年来的温度变化. 气象, 1994, 12: 19~26
- 5 Karl T R, Knight R W, et al. Indices of climate Change for the United States. Bull Amer Meteor Soc, 1996, 77: 279-292
- 6 盛承禹等. 中国气候总论. 北京: 科学出版社, 1986. 538pp
- 7 Rakhecha P R and Soman M K. Trends in the annual extreme rainfall events of 1 to 3 days duration over India. Theor Appl Climat, 1994, 48: 227-237
- 8 Iwashita T and Yamamoto R. A statistical analysis of the extreme events: long-term trend of heavy daily precipitation. J Meteor Soc Japan, 1993, 71: 637-640
- 9 翟盘茂, 周琴芳. 北半球雪盖与中国夏季降水. 应用气象学报, 1997, 8(2): 241~246
- 10 Groisman P Ya, Karl T R and Knight R W. Observed impact of snow cover on the heat balance and rise of continental spring temperatures. Science, 1994, 263: 198-200
- 11 Cubasch U, Waszkewitz G, et al. Regional climate changes as simulated in time-slice experiments. Climate Change, 1995, 31: 273-304
- 12 Gregory J M and Mitchell F B. Simulation of daily variability of surface temperature and precipitation over Europe in the current and  $2 \times \text{CO}_2$  climates using UKMO climate model. Quart J R Meteor Soc, 1995, 121: 1451-1476



## DETECTION OF TRENDS IN CHINA'S PRECIPITATION EXTREMES

Zhai Panm ao Ren Fum in Zhang Q iang

(*N ational Clim ate Center, B eijing, 100081*)

### Abstract

On the basis of 296 stations with complete daily precipitation records during 1951-1995, this paper mainly studied extreme changes of precipitation amount, precipitation frequency, and precipitation intensity in China

The results revealed that there are no obvious trends in annual precipitation, 1-day and 3-day maximum precipitation, and precipitation amount for daily precipitation above different intensities. However, a significant increasing trend in extremely above normal mean intensity of precipitation in China is accompanied with reduction of rain days.

Regional difference is very evident in the trends of China's precipitation extremes. In eastern China, much above normal mean intensity of precipitation tends to increase. In North China, under the background of decrease in annual precipitation totals, decreasing trends are very obvious for 1-day and 3-day maximum precipitation, and for rain days with daily precipitation above 50 mm and 100 mm. However, annual mean intensity of precipitation still tends to increase in North China.

Exception is in western Northwest China, where the annual precipitation amount displayed an increasing trend and the area coverage of extreme amount of high intensity precipitation displayed an increasing trend but it showed no significant trend for wet days.

**Key words** : China precipitation, Change of extremes, Trend